



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Express Mail No.: EL244181695US
Applicant(s): Teemu SIPILA
Serial No.: 0 /
Filed: Herewith
For: DATA PROCESSING METHOD

Group No.:

Examiner:

Commissioner of Patents
Washington, D.C. 20231

TRANSMITTAL OF CERTIFIED COPY

Attached please find the certified copy of the foreign application from which priority is claimed for this case:

Country : Finland
Application Number : 20002692
Filing Date : 8 December 2000

WARNING: "When a document that is required by statute to be certified must be filed, a copy, including a photocopy or facsimile transmission of the certification is not acceptable." 37 CFR 1.4(f) (emphasis added.)

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Clarence A. Green", written over a horizontal line.

SIGNATURE OF ATTORNEY

Reg. No.: 24,622

Clarence A. Green

Tel. No.: (203) 259-1800

Type or print name of attorney

Perman & Green, LLP

Customer No.: 2512

P.O. Address

425 Post Road, Fairfield, CT 06430

NOTE: The claim to priority need be in no special form and may be made by the attorney or agent if the foreign application is referred to in the oath or declaration as required by § 1.63.

(Transmittal of Certified Copy [5-4])

Helsinki 15.10.2001

U
J1011 U.I
10/010
12/03/

ETUOIKEUSTODISTUS
PRIORITY DOCUMENT



Hakija
Applicant

Nokia Mobile Phones Ltd
Espoo

Patenttihakemus nro
Patent application no

20002692

Tekemispäivä
Filing date

08.12.2000

Kansainvälinen luokka
International class

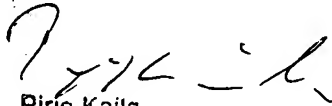
H03M

Keksinnön nimitys
Title of invention

"Tiedonkäsittelymenetelmä"

Täten-todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.


Pirjo Kaila
Tutkimussihteeri

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Maksu 300,- €
Fee 300,- €
FTM

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1782/1995 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1782/1995 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite:	Arkadiankatu 6 A	Puhelin:	09 6939 500	Telefax:	09 6939 5328
	P.O.Box 1160	Telephone:	+ 358 9 6939 500	Telefax:	+ 358 9 6939 5328
	FIN-00101 Helsinki, FINLAND				

Tiedonkäsittelymenetelmä

Keksinnön ala

Keksinnön kohteena on menetelmä, jolla etsitään symbolisekvenssejä polkumetriikan avulla, esimerkiksi vastaanotetun signaalin dekodaa-
5 seksi tai symbolien välisen keskinäisvaikutuksen (ISI, intersymbol interference) vähentämiseksi vastaanottimessa.

Keksinnön tausta

Radiotietoliikennejärjestelmissä signaali etenee sähkömagneettisena aaltoliikkeenä radiokanavassa lähettimeltä vastaanottimelle. Radiokanavassa lähetettyyn signaaliin aiheutuu erilaisia vääristymiä, joten vastaanotettu
10 signaali poikkeaa lähetetystä. Vastaanottimessa lähetetty informaatio pitää signaalin vääristymisestä huolimatta ilmaista. Signaalin ilmaisemisen onnistumiseksi on kehitetty erilaisia menetelmiä, esimerkiksi erilaisiin diagrammeihin, kuten trellis- tai puudiagrammeihin (trellis diagram, tree diagram) perustuvia
15 etsintämenetelmiä eli algoritmeja. Näillä algoritmeilla pyritään löytämään diagrammin läpi se polku eli symbolisekvenssi (symbolisekvenssi koostuu ainakin yhdestä bitistä), jonka polkumetriikka eli tyypillisesti eri tilasiirtymien Hammingpainojen tai Euklidisien etäisyyksien neliöiden summa on pienin, eli ne pohjautuvat Viterbi-algoritmiin. Viterbi-algoritmi ei sellaisenaan liiallisen monimut-
20 kaisuuden ja siten hitauden takia yleensä sovellu käytännön järjestelmiin. Algoritmit ovat alioptimaalisia; niitä on lukuisia ja ne soveltuvat erilaisiin tarkoituksiin. Näitä algoritmeja käytetään mm. kanavakorjaimissa, eri tavalla koodattujen signaalien dekodauksessa, puheentunnistuksessa ja monen käyttäjän ilmaisimissa (MUD, multi-user detector). Algoritmeja ovat esimerkiksi M-
25 algoritmi, Fano-algoritmi, päätöstakaisinkytketty sekvenssiestimaatio (DFSE, decision-feedback sequence estimation), jotka ovat kovan päätöksen (hard decision) algoritmeja. Pehmeän päätöksen algoritmeja ovat esimerkiksi pehmeän päätöksen DFSE ja pehmeän päätöksen (soft decision) M-algoritmi.

Tunnetun tekniikan mukaiset algoritmit kuitenkin toimivat puutteellisesti silloin, kun kanavan impulssivasteen suurin arvo ei ole ensimmäinen arvo. Aiemmin tätä ongelmaa on ratkaistu asettamalla kanavakorjaimen eteen esisuodatin (prefilter), jolla vastaanotetun signaalin energiaa on saatu keräytymään impulssivasteen alkuun. Esisuodatin kuitenkin lisää järjestelmän monimutkaisuutta ja pidentää signaalin käsittelyyn kuluva-aikaa. On tilanteita,
35 joissa esisuodattimenkaan avulla ei saada riittävästi tehoa impulssivasteen

ensimmäiseen arvoon. Lisäksi, mikäli kanavan impulssivasteen määrittämisessä impulssivasteen ensimmäinen arvo on epäluotettava tai sen arvo on liian pieni, sekvenssin estimoimisen luotettavuus kärsii.

Keksinnön lyhyt selostus

5 Keksinnön tavoitteena on toteuttaa Viterbi-algoritmiin pohjautuva parannettu alioptimaalinen menetelmä symbolisekvenssin etsimiseksi tyypillisesti vastaanottimessa.

Tämä saavutetaan alioptimaalisella menetelmällä symbolisekvenssin etsimiseksi. Määritetään kanavan impulssivaste, näytteistetään vastaan-
 10 otettua signaalia, valitaan ainakin yksi suurimmista ja/tai luotettavimmista impulssivasteen arvoista, määritetään vertailusignaali ainakin yhden impulssivastearvon ja lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin avulla, määritetään valittuja impulssivasteen arvoja vastaavat signaalinäytteen ja vertailusignaalin erotermi, käytetään määritettyjä erotermiä symbolisekvenssin siirtymämetriikassa symbolisekvenssin etsimiseksi, muodostetaan selviytyjäpolku liittämällä
 15 siirtymämetriikan avulla saatu symbolisekvenssi aiemmin kertyneeseen selviytyjäpolkuun.

Keksinnön kohteena on myös menetelmän toteuttava vastaanotin, jossa etsitään symbolisekvenssiä. Vastaanotin käsittää välineet määrittää kanavan impulssivaste, vastaanotin käsittää välineet näytteistää vastaanotettua
 20 signaalia, vastaanotin käsittää välineet valita ainakin yksi suurimmista ja/tai luotettavimmista impulssivasteen arvoista, vastaanotin käsittää välineet määrittää vertailusignaali ainakin yhden impulssivastearvon ja lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin avulla, vastaanotin käsittää välineet määrittää valittuja impulssivasteen arvoja vastaavat signaalinäytteen ja vertailusignaalin erotermi, vastaanotin käsittää välineet käyttää määritettyjä erotermiä siirtymämetriikassa symbolisekvenssin etsimiseksi, vastaanotin käsittää välineet muodostaa selviytyjäpolku liittämällä siirtymämetriikan avulla saatu symbolisekvenssi aiemmin kertyneeseen selviytyjäpolkuun.

30 Keksinnön edulliset suoritusmuodot ovat epäitsenäisten patenttivaatimusten kohteena.

Keksintö perustuu siihen, että siirtymämetriikkaa mukautetaan estimoituun kanavan impulssivasteeseen siten, että siirtymämetriikan termit tai osa niistä, vastaavat valittuja suurimpia ja/tai luotettavimpia impulssivasteen
 35 arvoja. Lisäksi termien määrittämisessä tarvittavien vertailusignaalien laskennassa voidaan myös käyttää vain osaa kaikista määritetyistä impulssivaste-

voista: edullisesti se impulssivastearvo, jota vastaavan näytesignaalin kanssa erotermiä lasketaan ja sitä myöhäisemmät impulssivastearvot tai osa niistä.

Keksinnön mukaisella menetelmällä ja järjestelmällä saavutetaan useita etuja. Keksinnön mukaisella menetelmällä voidaan parantaa Viterbi-
 5 algoritmiin perustuvien alioptimaalisten algoritmien luotettavuutta erityisesti silloin, kun kanavan impulssivasteessa signaalienergia ei ole kasaantunut impulssivasteen alkuun; täten vältetään erillisten esisuodattimien tarve. Lisäksi, mikäli kanavan impulssivasteen määrittäminen, joko mittaamalla tai muuten
 10 estimoimalla osittain epäonnistuu, esimerkiksi siten että jokin impulssivasteen arvo on epäluotettava, voidaan symbolisekvenssin siirtymämetriikassa korvata tätä impulssivasteen arvoa vastaava erotermi jotakin toista arvoa vastaavalla erotermillä symbolisekvenssin estimoimisen luotettavuuden täten lisääntyessä.

Kuvioiden lyhyt selostus

Keksintöä selostetaan nyt lähemmin edullisten suoritusmuotojen yhteydessä, viitaten oheisiin piirroksiin, joissa
 15

kuvio 1 esittää esimerkkiä tietoliikennejärjestelmästä,

kuviot 2a-c havainnollistavat esimerkkiä trellisdiagrammista,

kuvio 3 esittää vuokaaviona menetelmäskeleet symbolisekvenssin
 etsimiseksi

20 kuviot 4a-c havainnollistavat esimerkkejä kanavan impulssivasteesta,

kuviot 5a-b esittävät simulointituloksia kuvioiden 4a-b kanavista,

kuvio 6 havainnollistaa yhtä esimerkkiä vastaanotinrakenteesta lohkokaaavion avulla.

25 Suoritusmuotojen selostus

Esillä olevaa keksintöä voidaan käyttää erilaisissa langattomissa viestintäjärjestelmissä, kuten solukkoradiojärjestelmissä. Käytettävällä monikäyttö-
 menetelmällä ei ole merkitystä. Esimerkiksi CDMA (Code Division Multiple Access), WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) sekä TDMA (Time
 30 Division Multiple Access) tai näiden hybridit ovat mahdollisia. Alan ammattilaiselle on myös selvää, että keksinnön mukaista menetelmää voidaan soveltaa myös eri modulointimenetelmiä tai ilmarajapintastandardeja käyttäviin järjestelmiin. Keksinnön mukaista menetelmää voidaan soveltaa erityisesti monitasoisia modulaatiomenetelmiä käyttävissä järjestelmissä, kuten GSM-järjestelmän
 35 (Groupe Spécial Mobile) modifikaatiossa EDGE-järjestelmässä (enhanced

data rates for GSM evolution), jossa käytetään 8-PSK -modulaatiota.

Kuviossa 1 havainnollistetaan yksinkertaistettua yhtä digitaalista tiedonsiirtojärjestelmää, jossa keksinnön mukaista ratkaisua voidaan soveltaa. Kyseessä on osa solukkoradiojärjestelmästä, joka käsittää tukiaseman 104, joka on radioyhteydessä 108 ja 110 tilaajapäätelaitteisiin 100 ja 102, jotka voivat olla kiinteästi sijoitettuja, ajoneuvoon sijoitettuja tai kannettavia päätelaitteita. Tukiasemassa on lähetinvastaanottimia. Tukiaseman lähetinvastaanottimista on yhteys antenniysikköön, jolla toteutetaan radioyhteys tilaajapäätelaitteeseen. Tukiasema on edelleen yhteydessä tukiasemaohjaimen 106, joka välittää päätelaitteiden yhteydet muualle verkkoon. Tukiasemaohjain ohjaa keskitetysti useita siihen yhteydessä olevia tukiasemia. Tukiasemaohjaimessa sijaitseva ohjausyksikkö suorittaa puhelunohjausta, liikkuvuuden hallintaa, tilastotietojen keräystä ja signalointia.

Solukkoradiojärjestelmästä voidaan olla yhteydessä myös yleiseen puhelinverkkoon.

Kuvioissa 2a-c on esitetty yksinkertainen esimerkki trellisdiagrammista. Kuvioiden 2a-c esimerkki esitetään vain Viterbi-algoritmin perusperiaatteiden havainnollistamiseksi, eikä se mitenkään rajoita keksinnön soveltamista. Esimerkki on kirjasta Edward A. Lee, David G. Messerschmitt: Digital Communications, sivut 268-275, joka otetaan tähän viitteeksi.

Vastaanotetusta signaalista on otettu näytteet, joiden arvot ovat 0,2, 0,6, 0,9 ja 0,1. Näytteet ovat tyypillisesti vastaanotetun signaalin tehoarvoja. Vastaanotettu signaali on tässä vaiheessa siis diskretisoitu analoginen signaali. Järjestelmän modulaatiomenetelmä tiedetään ja siten tiedetään, mitä symbolisekvenssejä lähetin on lähettänyt. Kuvioin 2a-c esimerkissä on yksinkertaisin mahdollinen tapaus, jossa tasoja on vain kaksi: 0 200 tai 1 202. Tasot voisivat olla myös +1 ja -1 tai tasoja voisi olla useampia ja tasot voisivat käsittää useampia bittejä. Esimerkiksi 8-PSK modulaatiossa tasoja on kahdeksan ja ne ovat kolmibittisiä symbolisekvenssejä. Diagrammissa tilat eli mahdolliset lähetetyt symbolisekvenssit ovat allekkain ja aika kulkee vasemmalta oikealle. Kyseisessä esimerkissä kanavan impulssivasteen on määritetty olevan muotoa $h_k = \delta_k + 0,5 \cdot \delta_{k-1}$, eli tarkasteluhetkenä järjestelmän ulostulo riippuu paitsi tarkasteluhetken sisäänmenosta myös aikaisemman hetken sisäänmenosta. Metriikassa käytetyt referenssiarvot ovat täten taulukon 1 mukaiset.

δ_k	δ_{k-1}	metriikassa käytetty referenssiarvo
0	0	0,0
0	1	0,5
1	0	1,0
1	1	1,5

Taulukko 1.

Seuraavaksi selostetaan symbolisekvenssin etsintää kuvion 2a avulla, kun siirtymämetriikat määräytyvät Euklidisien etäisyyksien neliöiden perusteella. Esimerkkitapauksessa vastaanotettua signaalia käsitellään diskretisoituna analogisena signaalina. Trellis aloitetaan 0-tilasta. Ensimmäinen havainto on 0,2, joten neliöllinen Euklidisen etäisyyden neliö lasketaan $|0,2 - 0|^2$, josta saadaan 0,04, ja siten ensimmäinen siirtymämetriikka-arvo on 0,04.

10 Samoin lasketaan $|0,2 - 1|^2$, josta saadaan 0,64.

Seuraava havainto on 0,6, joten 0-tilasta 0-tilaan lasketaan $|0,6 - 0|^2$, jonka arvo on 0,36, ja 0-tilasta 1-tilaan $|0,6 - 1|^2$, josta saadaan 0,16. 1-tilasta 0-tilaan lasketaan puolestaan $|0,6 - 0,5|^2$, jonka arvo on 0,01 ja siirryttäessä 1-tilasta 1-tilaan lasketaan $|0,6 - 1,5|^2$, josta saadaan 0,81.

15 Laskentaa jatketaan vastaavasti, kunnes on tultu trelliksen eli ristikön loppuun ja kaikki siirtymämetriikat on selvitetty.

Kuviossa 2b on nopeutettu etsintää Viterbi-algoritmin avulla. Viterbi-algoritmin mukaisesti jokaisessa tilassa 204, 206, 208, 210, 212, 214, 216, 218 tehdään päätös siitä, mikä polku valitaan. Valinta tehdään polkumetriikoiden 220, 222 perusteella. Polkumetriikassa lasketaan kunkin polun siihenastiset siirtymämetriikat yhteen. Viterbi-algoritmin mukaisesti kussakin päätöstilassa valitaan siihen tulleista kahdesta polusta se polku, jonka polkumetriikka on pienempi. Näin saadaan minimoitua päätöksen virhetodennäköisyys. Kussakin päätöstilassa valittua polkua kutsutaan selviytyjäksi (survivor). Muistissa 25 säilytetään siis vain yksi polku kutakin tilaa kohden. Valitut sekvenssit lisätään edellisten sekvenssien jatkeeksi. Kuviossa 2b on esitetty vain selviytyjät, joista ensimmäisen polkumetriikka on siirtymämetriikoiden summa eli $0,04 + 0,16 + 0,16 = 0,36$ 220 ja toisen polkumetriikka on $0,04 + 0,36 + 0,01 = 0,41$ 222.

Kuvion 2C avulla havainnollistetaan tehtävää päätöstä siitä, mikä symbolisekvenssi lähetettiin. Symbolisekvenssien yhtyessä trellisdiagrammin eli ristikkokaavion loppupäässä, tehdään lopullisia päätöksiä vastaanotetuista symboleista. Selviytyjäpoluista valitaan se polku, jonka polkumetriikka on pienin, tässä tapauksessa 0,37 224, joten symbolisekvenssiksi, joka oletetaan lähetetyksi, saadaan 0,1,0,0. On huomattava, että Viterbi-algoritmin monimutkaisuus kasvaa eksponentiaalisesti vaikutuspituuden (muistin pituuden) kasvaessa ja lineaarisesti tilojen määrän suhteen.

Siirtymämetriikat voidaan laskea muillakin menetelmillä kuin yllä selostetussa esimerkissä käytetyllä neliöllisellä Euklidisella metriikalla. Muita metriikoita ovat esimerkiksi Hamming-metriikka, korrelaatiometriikka ja todennäköisyysmetriikka. Esimerkiksi Hamming-metriikassa vastaanotettua signaalia käsitellään symbolisekvensseinä eli digitaalisessa muodossa.

Kuviossa 3 esitetään vuokaaviona menetelmäaskeleet symbolisekvenssin etsimiseksi. Menetelmän suorittaminen alkaa lohkoista 300. Lohkossa 302 määritetään kanavan impulssivaste mittaamalla vastaanotetun signaalin tehoa eri viiveen arvoilla. Impulssivaste voidaan myös estimoida jollakin tunnetun tekniikan mukaisella menetelmällä, joita ei tässä tarkemmin esitellä. Määritettävien impulssivastearvojen lukumäärä riippuu järjestelmästä, esimerkiksi suodattimen kertoimien lukumäärästä, ja on menetelmän soveltamisen kannalta vapaasti valittavissa.

Lohkossa 304 näytteistetään vastaanotettua signaalia jollakin tunnetun tekniikan mukaisella menetelmällä, jotta saadaan havaintoarvot siirtymämetriikkaa varten.

Seuraavaksi lohkoissa 306 valitaan siirtymämetriikkaa varten yksi tai useampia impulssivastearvoja. Useampaa arvoa käyttäen saadaan luotettavampi tulos. Impulssivastearvoista valitaan käytettäväksi joko suurimmat arvot, jolloin saadaan maksimoitua vastaanotettu signaalienergia tai sitten valinnassa otetaan huomioon myös arvon luotettavuus, esimerkiksi siten, että valitaan heikompiakin impulssivastearvo, jos se on hyvin luotettava ja jätetään pois suuri, mutta epäluotettava arvo. Valinnassa voidaan käyttää edellä esitetyn mukaisesti yhdistelmävalintaperustetta tai sitten pelkästään arvon suuruutta tai luotettavuutta. Valintaperuste voidaan päättää kulloiseenkin tilanteeseen sopivaksi, esimerkiksi painotetaan arvon luotettavuutta, jos on aiemmin saatu järjestelmästä tietoa, että siten saadaan paras tulos.

Lohkossa 308 määritetään symbolisekvenssin siirtymämetriikassa käytettävä vertailu- eli referenssisignaali ainakin yhden lohossa 302 määritetyn impulssivastearvon ja lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin avulla. Vertailusignaali on esimerkiksi muotoa

$$5 \quad \sum_{k=0}^K h(f(k))x(n-k), \text{ jossa} \quad (1)$$

K on järjestelmän muistin pituus,

h(f(k)) on impulssivasteen arvo. Impulssivastearvojen määrä kaavan mukaisesti määräytyy järjestelmän muistin pituudesta ja on menetelmän suorittamisen kannalta vapaasti valittavissa,

f(k) on k:n funktio. Tällä merkinnällä kuvataan sitä, että vertailusignaalin määrittämistä varten voidaan ottaa mukaan laskentaan kaikki muistissa olevat impulssivastearvot tai vain joitakin niistä. Edullisesti laskennassa käytetään siirtymämetriikkaa varten valittua impulssivastearvoa ja tätä impulssivastearvoa myöhäisempiä impulssivastearvoja tai osaa niistä,

x(n) on lähetetyksi oletettu symbolisekvenssi, joiden määrä myös kaavan mukaisesti määräytyy järjestelmän muistin pituudesta ja on menetelmän suorittamisen kannalta vapaasti valittavissa.

Lähetetyksi oletetut symbolisekvenssit ovat ne symbolisekvenssit, joita lähetin lähettää. Niiden pituus (bittien määrä symbolissa) ja erilaisten symbolisekvenssien määrä riippuvat käytetystä järjestelmästä, erityisesti modulaatiomenetelmästä ja ne ovat parannetun etsimismenetelmän kannalta vapaasti valittavissa.

Lohkossa 310 määritetään erotermi. Erotermi määritetään lohossa 306 valittuja impulssivasteen arvoja vastaavien vastaanotetusta signaalista otettujen näytteiden ja vertailusignaalien avulla, esimerkiksi Euklidisen etäisyyden neliönä. Erotermi lasketaan esimerkiksi seuraavasti

$$25 \quad \left| r(n) - \sum_{k=0}^K h(f(k))x(n-k) \right|^2, \text{ jossa} \quad (2)$$

30 K on järjestelmän muistin pituus,

h(f(k)) on impulssivasteen arvo,

f(k) on jonkin k:n funktio, jolla kuvataan sitä, että erotermien määrittämisessä tarvittavien vertailusignaalien laskennassa voidaan myös käyttää vain osaa kaikista määritetyistä impulssivastearvoista, edullisesti lohossa 306

valittua impulssivastearvoa ja tätä impulssivastearvoa myöhäisempiä impulssivastearvoja tai osaa niistä,

$x(n)$ on lähetetyksi oletettu symbolisekvenssi,

$r(n)$ on vastaanotetusta signaalista saatu näyte.

- 5 Erotermejä lasketaan valittuja impulssivastearvoja vastaaville vastaanotetusta signaalista otetuille signaalinäytteille.

Esimerkinä esitetyn Euklidisen metriikan lisäksi muita mahdollisia erotermimetriikoita ovat esimerkiksi Hamming-metriikka, korrelaatiometriikka ja todennäköisyysmetriikka.

- 10 Lohkossa 312 lasketaan symbolisekvenssin siirtymämetriikka.

- Menetelmässä valitaan siirtymämetriikassa käytettäviksi vain osa kaikista mahdollisista erotermistä; esimerkiksi lohkoissa 310 lasketut valittuja impulssivastearvoja vastaavat erotermi. Tällöin saadaan parannetun etsimismenetelmän mukainen siirtymämetriikka. Toinen sovellusmuoto on määrittää
15 siirtymämetriikka tunnetun tekniikan mukaisesti ja lisätä tähän siirtymämetriikkaan valittuja impulssivastearvoja vastaavia erotermiä, jolloin saadaan myös parannetun etsimismetriikan mukainen siirtymämetriikka. Siirtymämetriikan erotermien suurin mahdollinen lukumäärä määräytyy kanavan muistin pituudesta, eli käytettävissä olevien impulssivastearvojen maksimimäärästä. Seuraavaksi selostetaan siirtymämetriikan termien valintaa tarkemmin kuvioiden
20 4a-c kanavan impulssivaste-esimerkkien avulla. Esimerkit esitetään vain menetelmän ymmärtämisen helpottamiseksi, eikä niillä mitenkään rajoiteta parannetun etsimismenetelmän soveltamista. Kuvioissa 4a-c vaaka-akselilla on aika ja pystyakselilla amplitudi tai teho.

- 25 Kuviossa 4a on esitetty kanavan impulssivaste, jossa suurin arvo on kolmas impulssivastepiikki. Tällöin siirtymämetriikkaan valitaan esimerkiksi kolme termiä eli tarkasteluajankohdan näyte $h(n)$ 400 ja kaksi sitä edeltävää näytettä $h(n+1)$ 402 sekä $h(n+2)$ 404 ja näytteet $h(n+3)$ 406 sekä $h(n+4)$ 408 jätetään pois, jolloin parannetun etsimismenetelmän mukainen siirtymämetriikka saa edullisesti muodon
30

$$\begin{aligned} & \left| r(n) - \sum_{k=0}^4 h(k)x(n-k) \right|^2 + \\ & \left| r(n+1) - \sum_{k=1}^4 h(k)x(n+1-k) \right|^2 + \\ & \left| r(n+2) - \sum_{k=2}^4 h(k)x(n+2-k) \right|^2 \end{aligned} \quad (3)$$

jossa $\left| r(n) - \sum_{k=0}^4 h(k)x(n-k) \right|^2$ vastaa tunnetun tekniikan mukaista ratkaisua ja lisätermiä

$$\left| r(n+1) - \sum_{k=1}^4 h(k)x(n+1-k) \right|^2 \text{ sekä } \left| r(n+2) - \sum_{k=2}^4 h(k)x(n+2-k) \right|^2$$

5

kutsutaan tässä siirtymämetriikkalisätermeiksi.

Kaavan 3 esimerkistä huomataan, että parannetun etsimismetriikan mukaisissa siirtymämetriikkalisätermeissä erotermi vertailusignaali voidaan määrittää käyttäen vain muutamia impulssivastearvoja. Tällöin otetaan edullisesti mukaan valittu impulssivastearvo ja sitä myöhäisemmät impulssivastearvot tai osa niistä.

Kuviossa 4b on esitetty toinen esimerkkikanava, jonka impulssivasteessa on kaksi tehopiikkiä $h(n)$ 410 ja $h(n+1)$ 412. Tällöin tekniikan tason mukainen siirtymämetriikka on muotoa

$$\left| r(n) - h(0)x(n) - h(1)x(n-1) \right|^2 \quad (4)$$

15

Parannetun etsimismenetelmän siirtymämetriikka saa puolestaan esimerkiksi muodon

$$\left| r(n) - h(1)x(n-1) \right|^2 + \left| r(n+1) - h(1)x(n) \right|^2 \quad (5)$$

20

Kuvion 4c esimerkissä kanavan impulssivasteessa on kaksi suurta arvoa: $h(n+1)$ 416 ja $h(n+4)$ 422. Näiden lisäksi siirtymämetriikkaan otetaan vielä $h(n)$ 414. Impulssivastearvot 418, 420, 424 jätetään pois metriikasta. Tällöin tekniikan tason mukainen neliöllinen Euklidinen siirtymämetriikka on muotoa

25

$$\left| r(n) - \sum_{k=0}^5 h(k)x(n-k) \right|^2 \quad (6)$$

ja Hamming-siirtymämetriikka on muotoa

$$d_H \left(Q[r(n)], Q \left[\sum_{k=0}^5 h(k)x(n-k) \right] \right), \text{ jossa} \quad (7)$$

30

$Q[a]$ on tietylle määrälle symboleja kvantisoitu muuttuja a ,

$d_H(b, c)$ tarkoittaa lukujen b ja c välistä Hamming-etäisyyttä.

Parannetun etsimismenetelmän neliöllinen Euklidinen siirtymämetriikka saa puolestaan esimerkiksi muodon

$$\begin{aligned} & \left| r(n) - \sum_{k=0}^5 h(k)x(n-k) \right|^2 \\ & + |r(n+1) - h(1)x(n) - h(4)x(n-3)|^2 \\ & + |r(n+4) - h(4)x(n)|^2 \end{aligned} \quad (8)$$

5

ja parannetun etsimismenetelmän Hamming-siirtymämetriikka saa esimerkiksi muodon

$$\begin{aligned} & d_H\left(\mathcal{Q}[r(n)], \mathcal{Q}\left[\sum_{k=0}^5 h(k)x(n-k)\right]\right) \\ & + d_H\left(\mathcal{Q}[r(n+1)], \mathcal{Q}[h(1)x(n) + h(4)x(n-3)]\right) \\ & + d_H\left(\mathcal{Q}[r(n+4)], \mathcal{Q}[h(4)x(n)]\right) \end{aligned} \quad (9)$$

10

Parannetun etsimismenetelmän yhden sovellusmuodon mukaisessa siirtymämetriikassa voidaan erotermit siis määrittää vain valituille impulssivastearvoille ja signaalinäytteille. Toisen sovellusmuodon mukaisesti määritetään siirtymämetriikka tunnetun tekniikan mukaisesti ja lisätään tähän siirtymämetriikkaan valittuja impulssivastearvoja vastaavia erotermiä, joita tässä nimitetään siirtymämetriikkalisätermiksi. Lisäksi siirtymämetriikkalisätermien tai muiden parannetun etsimismenetelmän mukaisten erotermien määrittämisessä tarvittavien vertailusignaalien laskennassa voidaan käyttää vain osaa kaikista määritetyistä impulssivastearvoista, edullisesti sitä impulssivastearvoa, jota vastaavan näytesignaalin kanssa erotermiä lasketaan ja sitä myöhäisempiä impulssivastearvoja tai osaa niistä.

15

20

Lohkossa 314 muodostetaan selviytyjäpolku liittämällä siirtymämetriikan avulla saatu symbolisekvenssi aiemmin kertyneeseen selviytyjäpolkuun. Selviytyjäpolku on se polku, jonka polkumetriikka eli päätöstilaan mennessä kertyneiden esimerkiksi Euklidisten etäisyyksien neliöiden summa tai Hamming-etäisyyksien summa on pienin.

25

Mikäli symbolisekvenssin etsintä on kesken eli esimerkiksi trellisdiagrammissa on tiloja jäljellä, liitetään edellä mainitulla tavalla määritetty siirtymämetriikka jo aiemmin kertyneeseen polkumetriikkaan tai, mikäli halutaan pitää polkumetriikka alunperin valitun metriikan mukaisena, esimerkiksi Eukli-

disien etäisyyksien neliöiden tai Hamming-etäisyyksien summana, käytetään parannetun etsimismetriikan mukaista siirtymämetriikkaa vain selviytyjien valinnassa, mutta polkumetriikkaan lisätään jollakin tekniikan tason mukaisella metriikalla laskettu siirtymämetriikka. Muistiin talletetaan seuraavaa päätöstilaa varten vain selviytyjät.

Edellä selostetulla parannetulla etsimismenetelmällä määritettyjä siirtymämetriikoita ja jollakin tunnetun tekniikan mukaisella menetelmällä määritettyjä siirtymämetriikoita voidaan myös yhdistää polkumetriikan määrittämisessä. Täten polkumetriikka muodostuu osin tunnetun tekniikan mukaisesti määritetyistä siirtymämetriikoista ja osin parannetun menetelmän mukaisista siirtymämetriikoista, esimerkiksi aluksi polkumetriikka lasketaan tunnetun tekniikan mukaisesti ja lopuksi parannetun menetelmän mukaisesti. Polkumetriikan termit tai osa niistä voivat myös olla painotettuja keskiarvoja.

Menetelmää jatketaan, kunnes koko etsittävä symbolisekvenssi on löytynyt. Tämän jälkeen, mikäli vastaanotto jatkuu, aloitetaan uuden symbolisekvenssin etsintä.

Nuoli 316 kuvaa menetelmän toistettavuutta aina, kun impulssivaste on määritettävä uudestaan. Nuoli 318 kuvaa menetelmän toistettavuutta seuraavalle vastaanotetusta signaalista otetulle näytearvolle ilman impulssivasteen määrittämistä uudestaan. Menetelmää voidaan toistaa myös näytteistämällä signaalia mutta määrittämättä kuitenkaan kanavan impulssivastetta. Menetelmän suorittaminen loppuu lohkon 320. On huomattava, että yllä esitetyissä kaavoissa (1) - (9) impulssivasteen arvot ovat yleensä estimaatteja, eivätkä tarkkoja arvoja.

Esimerkeistä huomataan, että siirtymämetriikat ovat yleensä monimutkaisempia kuin tekniikan tason mukaiset metriikat, mutta tämän korvaa esisuodattimen puuttuminen ja se, että löydetty symbolisekvenssi on todennäköisemmin oikea eli parantunut suorituskyky. Kuvioissa 5a-b esitetään viitteellisesti simulointituloksia kuvioiden 4a-b esimerkkikanavien tilanteessa. On huomattava, että yksittäisiin simulointituloksiin vaikuttavat myös esimerkiksi mallissa käytetty modulointimenetelmä, algoritmi ja simuloinnissa käytettyjen bittien määrä. Simulointituloksista voidaan kuitenkin nähdä yleisiä linjoja järjestelmän käyttäytymisestä.

Kuviossa 5a on esitetty kuvion 4a esimerkkikanavasta saadut simuloidut bittivirhesuhdekäyrät. Kuviossa 5b on esitetty kuvion 4b esimerkkikanavasta saadut simuloidut bittivirhesuhdekäyrät. Bittivirhesuhteilla kuvataan

järjestelmän suorituskykyä. Bittivirhesuhde tarkoittaa virheellisten bittien suhdetta kaikkiin bitteihin. Pystyakselilla on bittivirhesuhde ja vaaka-akselilla bitin energian suhde kohinan tehotiheyteen, mikä kuvaa signaali-kohinasuhdetta. Käyrät 500 ja 504 ovat tekniikan tason mukaisella metriikalla saatuja ja käyrät 502 ja 506 parannetulla siirtymämetriikalla saatuja. Kuvioista 5a-b huomataan, että suorituskyvyissä on huomattava ero parannetun siirtymämetriikan hyväksi etenkin suurilla signaali-kohinasuhteen arvoilla. On huomattava, että etenkin kuvion 4b tilanteessa, jossa toisen impulssivasteen arvo on huomattavasti suurempi kuin ensimmäisen impulssivasteen arvo, parannetun metriikan suorituskyky on selvästi parempi verrattuna tekniikan tason mukaiseen metriikkaan.

Seuraavaksi selostetaan esimerkkiä vastaanotinrakenteesta kuviossa 6 esitetyn lohkokaaavion avulla, kun parannettua etsimismenetelmää sovelletaan kanavakorjaukseen. Vastaanotin voi sijaita esimerkiksi tukiasemassa tai tilaajapäätelaitteessa. Kuvion 6 esimerkissä on esitetty vain kanavakorjain ja siihen liittyvät lähettimen osat. Alan ammattilaiselle on selvää, että lähetin yleensä käsittää muitakin kuin kuviossa 6 esitettyjä osia. Näitä osia ei tässä esitetä, koska ne eivät esimerkin selostamisen kannalta ole oleellisia. Lisäksi lähettimen osat vaihtelevat sovellettavan radiojärjestelmästandardin mukaisesti, esimerkiksi hajaspektritekniikkaan perustuvissa järjestelmissä on lähetettävän signaalin hajotusvälineet ja vastaanotettavan signaalin koostamisvälineet.

Lähetävä informaatiosekvenssi $x(n)$ 600 viedään lähettimelle 602, josta se viedään antennille tai antenniryhmälle 604 radiotielle lähetettäväksi. Lähetin toteutetaan jollakin tunnetun tekniikan mukaisella ratkaisulla. Menetelmän soveltaminen ei rajoita lähettimen toteutustavan valintaa. Seuraavaksi signaali vastaanotetaan vastaanottimen antennilla tai antenniryhmällä 606, josta vastaanotettu signaali viedään vastaanottimen radiotaajuusosille 608, jossa vastaanotetusta signaalista tyypillisesti suodatetaan epätoivottuja taajuuksia ja vastaanotettu signaali alassekoitetaan välitaajuudelle tai suoraan kantataajuudelle. Signaali näytteistetään näytteistysvälineillä 610 edullisesti symbolinopeudella, jolloin saadaan diskretisoitu analoginen signaali $r(n)$ 612, joka voidaan mallintaa esimerkiksi seuraavasti

$$r(n) = \sum_{k=0}^K h(k)x(n-k) + w(n), \text{ jossa} \quad (10)$$

$w(n)$ on kanavan kohinatermi.

Kanavaestimaattorilla 616 määritetään jollakin tunnetun tekniikan mukaisella menetelmällä kanavan impulssivasteen arvot, jotka tyypillisesti ovat estimaatteja, eivät tarkkoja-arvoja. Nämä impulssivaste-estimaattiarvot
 5 $\hat{h}(0), \hat{h}(1), \dots, \hat{h}(K)$ 618 viedään ilmaisimelle 614, jolle myös viedään signaalinäytteet $r(n)$ 612. Ilmaisimessa 614 määritetään edellä selostetun parannetun etsimismenetelmän avulla tässä tapauksessa vähiten virheellinen symbolisekvenssiestimaatti $\hat{x}(n)$ 620 siirtymämetriikoiden ja/tai polkumetriikoiden avulla.

Keksintö toteutetaan edullisesti ohjelmallisesti, jolloin esimerkiksi
 10 tukiasemassa tai päätelaitteessa on mikroprosessori, jossa toimivana ohjelmistona kuvatun menetelmän mukaiset toiminnot toteutetaan. Keksintö voidaan myös toteuttaa esimerkiksi vaadittavan toiminnollisuuden tarjoavilla laitteistoratkaisuilla, esimerkiksi ASIC:na (Application Specific Integrated Circuit) tai erillisiä logiikkakomponentteja hyödyntäen.

15 On huomattava, että esitetty parannettu symbolisekvenssin etsimismenetelmä soveltuu käytettäväksi kaikissa trellis- ja puuhakualgoritmeja tai niihin perustuvia alioptimaalisia algoritmeja hyödyntävissä toiminnoissa ja järjestelmissä, ei ainoastaan tässä esimerkkinä esitetyssä kanavakorjainrakenteessa.

20 Vaikka keksintöä on edellä selostettu viitaten oheisten piirustusten mukaiseen esimerkkiin, on selvää, ettei keksintö ole rajoittunut siihen, vaan sitä voidaan muunnella monin tavoin oheisten patenttivaatimusten esittämän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.

Patenttivaatimukset

1. Alioptimaalinen menetelmä symbolisekvenssin etsimiseksi
t u n n e t t u siitä, että
302 määritetään kanavan impulssivaste,
5 304 näytteistetään vastaanotettua signaalia,
306 valitaan ainakin yksi suurimmista ja/tai luotettavimmista impuls-
sivasteen arvoista,
308 määritetään vertailusignaali ainakin yhden impulssivastearvon
ja lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin avulla,
10 310 määritetään valittuja impulssivasteen arvoja vastaavat signaali-
näytteen ja vertailusignaalin erotermi,
312 käytetään määritettyjä erotermiä symbolisekvenssin siirtymä-
metriikassa symbolisekvenssin etsimiseksi,
314 muodostetaan selviytyjäpolku liittämällä siirtymämetriikan avulla
15 saatu symbolisekvenssi aiemmin kertyneeseen selviytyjäpolkuun.
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä,
että käytetään ainakin yhden vertailusignaalin määrittämisessä valittua impuls-
sivastearvoa ja ainakin yhtä sitä myöhäisempää impulssivastearvoa.
- 20 3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä,
että käytetään ainakin yhden vertailusignaalin määrittämisessä vain valittua
impulssivastearvoa.
4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä,
että lisätään siirtymämetriikan erotermiä, jos impulssivaste käsittää useita
25 suuria ja/tai luotettavimpia arvoja.
5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä,
että vähennetään siirtymämetriikan erotermiä, jos impulssivaste käsittää vain
muutamia suuria ja/tai luotettavimpia arvoja tai vain yhden suuren ja/tai luo-
tettavan arvon.
30
6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä,
että siirtymämetriikan erotermien suurin mahdollinen lukumäärä määräytyy
kanavan muistin pituudesta.

7. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että siirtymämetriikan erotermien valinnassa painotetaan impulssivasteen arvojen suuruutta.

5 8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että siirtymämetriikan erotermien valinnassa painotetaan impulssivasteen arvojen luotettavuutta.

10 9. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että erotermi kuvaa vastaanotetun signaalinäytteen ja impulssivaste arvojen kanssa konvoloidun lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin välistä Euklidisen etäisyyden neliötä.

15 10. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että erotermi kuvaa vastaanotetun signaalinäytteen ja impulssivaste arvojen kanssa konvoloidun lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin välistä Hamming-etäisyyttä.

20 11. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että erotermi kuvaa vastaanotetun signaalinäytteen ja impulssivaste arvojen kanssa konvoloidun lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin välistä korrelaatiota.

 12. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että liitetään määritetty siirtymämetriikka aiemmin kertyneeseen polkumetriikkaan.

25 13. Patenttivaatimuksen 1 mukainen tietokoneohjelma, t u n n e t t u siitä, että se sisältää rutiinit menetelmän vaiheiden toteuttamiseksi.

 14. Patenttivaatimuksen 1 mukainen tietokoneen muistiväline, t u n n e t t u siitä, että se sisältää patenttivaatimuksen 13 mukaisen tietokoneohjelman.

30 15. Vastaanotin, jossa etsitään symbolisekvenssiä
t u n n e t t u siitä, että
vastaanotin käsittää välineet (616) määrittää kanavan impulssivaste,
te,

vastaanotin käsittää välineet (610) näytteistää vastaanotettua signaalia,

vastaanotin käsittää välineet (616, 614) valita ainakin yksi suurimmista ja/tai luotettavimmista impulssivasteen arvoista,

5 vastaanotin käsittää välineet (614) määrittää vertailusignaali ainakin yhden impulssivastearvon ja lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin avulla,

vastaanotin käsittää välineet (614) määrittää valittuja impulssivasteen arvoja vastaavat signaalinäytteen ja vertailusignaalin erotermit,

vastaanotin käsittää välineet (614) käyttää määritettyjä erotermejä
10 siirtymämetriikassa symbolisekvenssin etsimiseksi.

vastaanotin käsittää välineet (614) muodostaa selviytyjäpolku liittämällä siirtymämetriikan avulla saatu symbolisekvenssi aiemmin kertyneeseen selviytyjäpolkuun.

16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu
15 siitä, että käytetään ainakin yhden vertailusignaalin määrittämisessä valittua impulssivastearvoa ja ainakin yhtä sitä myöhäisempää impulssivastearvoa.

17. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu
siitä, että käytetään ainakin yhden vertailusignaalin määrittämisessä vain valittua impulssivastearvoa.

20 18. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu
siitä, että lisätään siirtymämetriikan erotermejä, jos impulssivaste käsittää useita suuria ja/tai luotettavimpia arvoja.

19. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu
siitä, että vähennetään siirtymämetriikan erotermejä, jos impulssivaste käsittää
25 vain muutamia suuria ja/tai luotettavimpia arvoja tai vain yhden suuren ja/tai luotettavan arvon.

20. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu
siitä, että siirtymämetriikan erotermien suurin mahdollinen lukumäärä määräytyy
30 kanavan muistin pituudesta.

21. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu
siitä, että siirtymämetriikan erotermien valinnassa painotetaan impulssivasteen arvojen suuruutta.

22. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu siitä, että siirtymämetriikan erotermien valinnassa painotetaan impulssivasteen arvojen luotettavuutta.

5

23. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu siitä, että erotermi kuvaa vastaanotetun signaalinäytteen ja impulssivastearvojen kanssa konvoloidun lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin välistä Euklidisen etäisyyden neliötä.

10

24. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu siitä, että erotermi kuvaa vastaanotetun signaalinäytteen ja impulssivastearvojen kanssa konvoloidun lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin välistä Hamming-etäisyyttä.

15

25. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu siitä, että erotermi kuvaa vastaanotetun signaalinäytteen ja impulssivastearvojen kanssa konvoloidun lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin välistä korrelaatiota.

20

26. Patenttivaatimuksen 15 mukainen vastaanotin, tunnettu siitä, että määritetty siirtymämetriikka liitetään aiemmin kertyneeseen polkumetriikkaan.

(57) Tiivistelmä

Alioptimaalinen menetelmä symbolisekvenssin etsimiseksi, jossa menetelmässä määritetään kanavan impulssivaste, näytteistetään vastaanotettua signaalia, valitaan ainakin yksi suurimmista ja/tai luotettavimmista impulssivasteen arvoista, määritetään vertailusignaali ainakin yhden impulssivastearvon ja lähetetyksi oletetun symbolisekvenssin avulla, määritetään valittuja impulssivasteen arvoja vastaavat signaalinäytteen ja vertailusignaalin erotterit, käytetään määritettyjä erottermejä siirtymämetriikassa symbolisekvenssin etsimiseksi, muodostetaan selviytyjäpolku liittämällä siirtymämetriikan avulla saatu symbolisekvenssi aiemmin kertyneeseen selviytyjäpolkuun.

(Kuvio 6)



Fig. 1

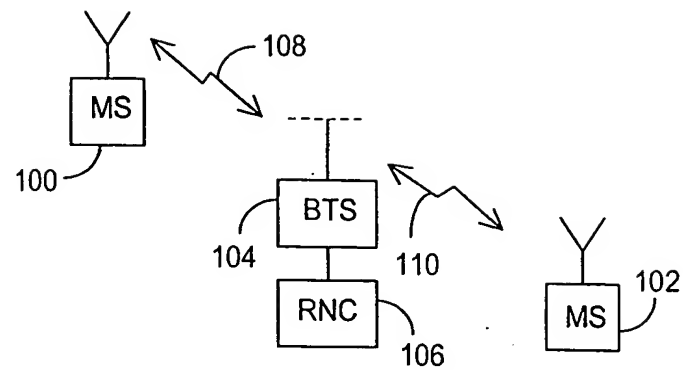


Fig. 2A

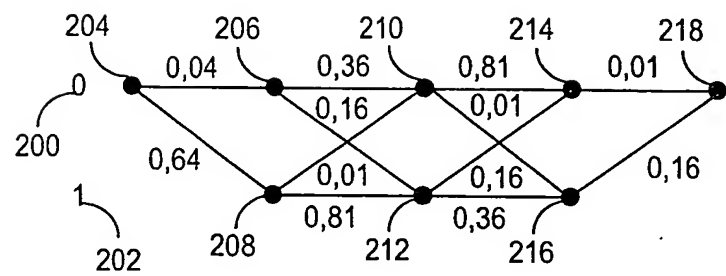


Fig. 2B

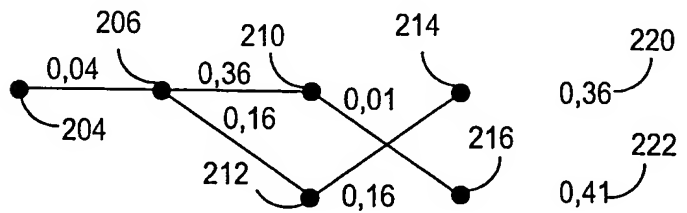


Fig. 2C

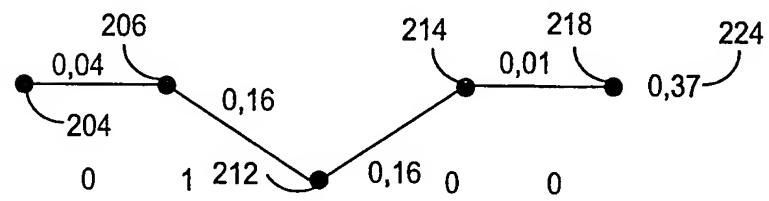


Fig. 4A

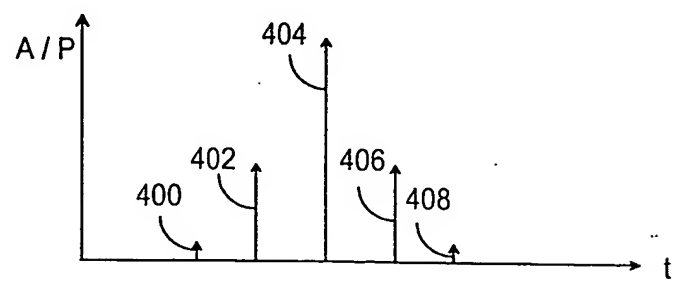


Fig. 4B

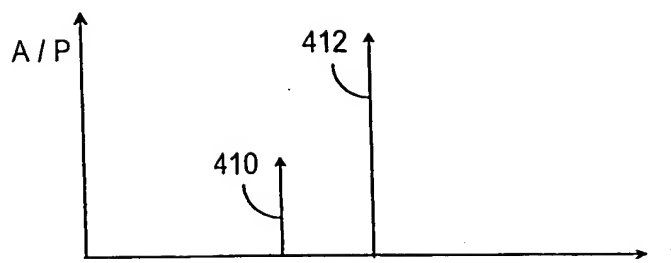


Fig. 4C

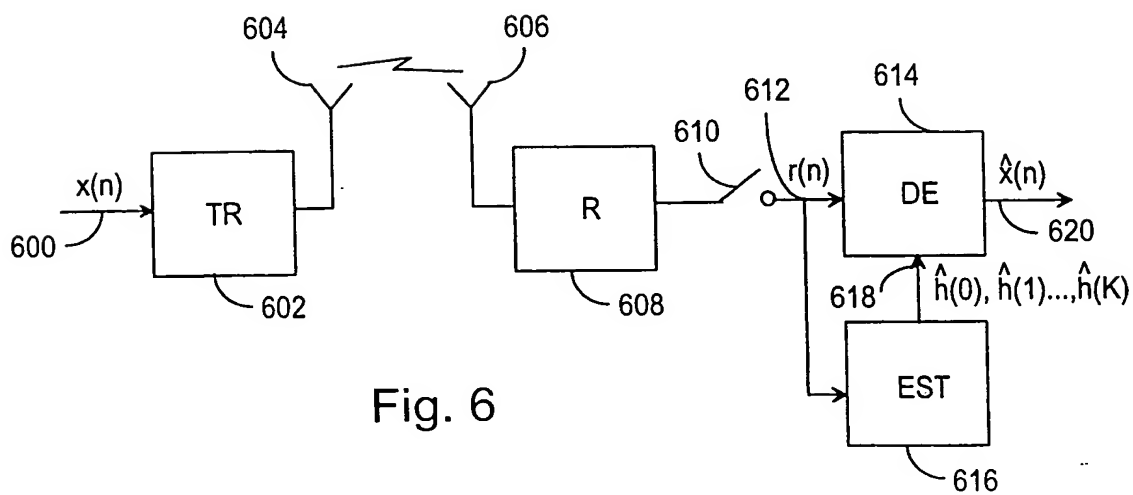
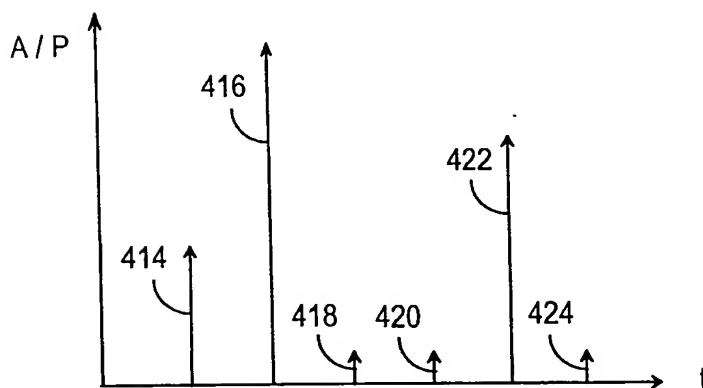


Fig. 6

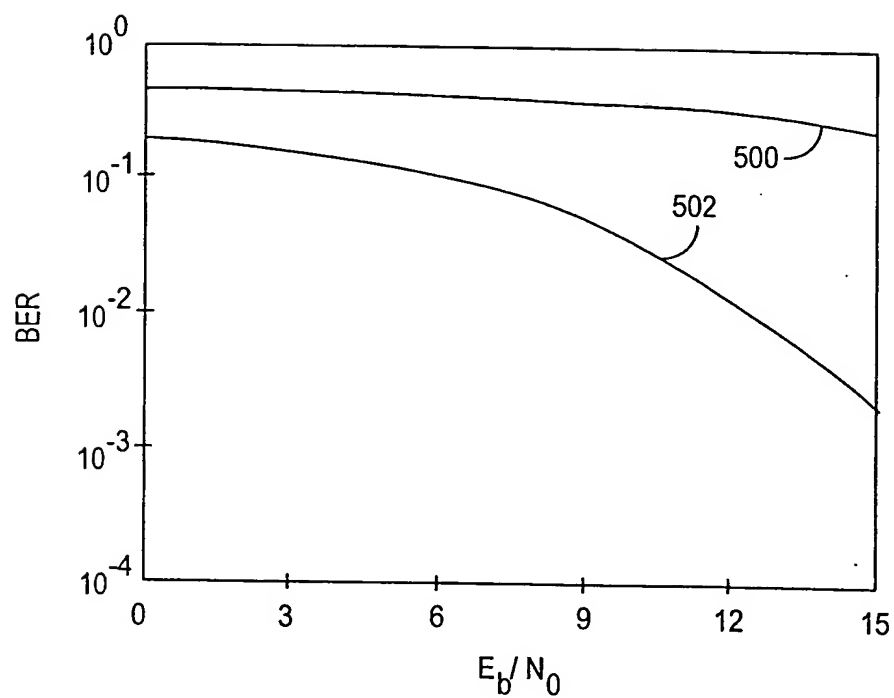


Fig. 5A

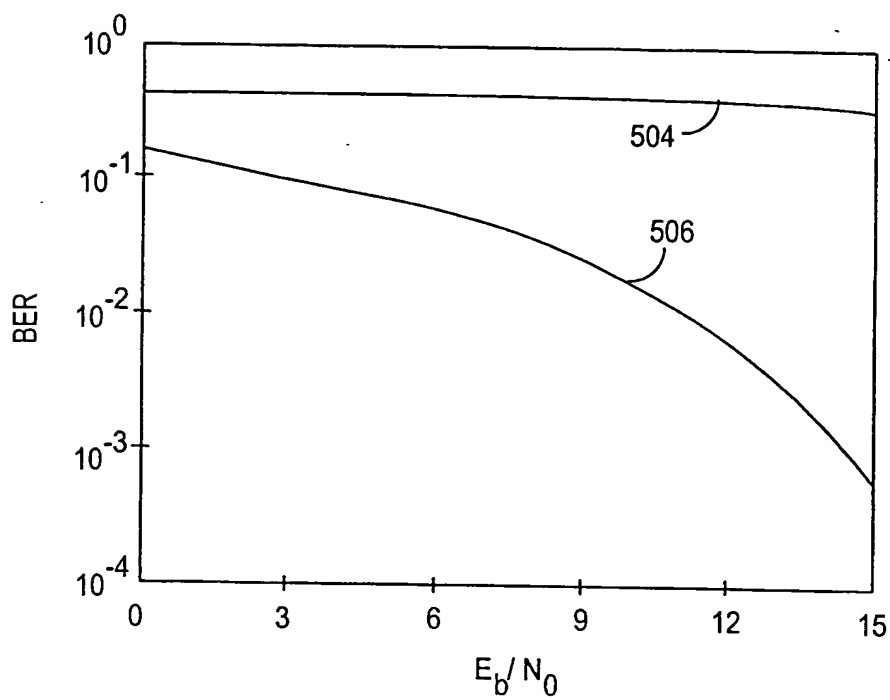


Fig. 5B

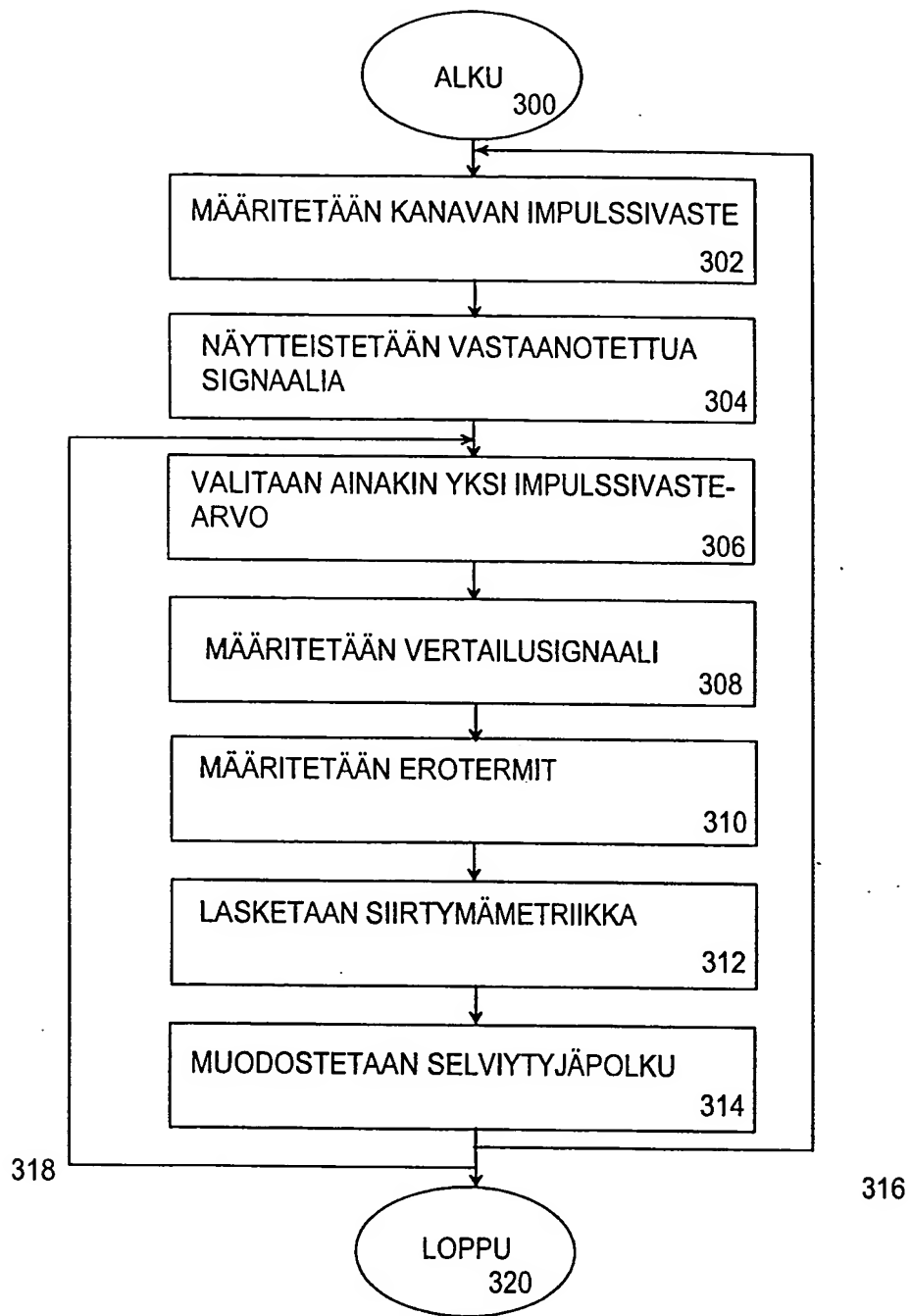


Fig. 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.